



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

EL PERÚ PRIMERO



BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Identificación de tipos de aerosoles en el Observatorio de Huancayo, Perú, usando un fotómetro solar AERONET.

Pág. 4

Trazando fuentes de humedad a través de señales isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$) en la lluvia de la región central de los Andes.

Pág. 12

Resumen del informe técnico de El Niño.

Pág. 18

Resumen del Comunicado ENFEN.

Pág. 19

CRÉDITOS

Kirla Echegaray Alfaro

Ministra del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú:

Hernando Tavera Huarache

Presidente Ejecutivo

Danny Scipión Castillo

Director Científico

Yamina Silva Vidal de Millones

Directora

Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Equipo editorial:

James Apaéstegui Campos

Kobi Mosquera Vásquez

Katherine Morón Rodríguez

Diagramación:

Luis Miguel Ybañez Romero

Carátula: Observatorio de Huancayo- IGP

Foto: Manuel Román

Lima, noviembre de 2020

El boletín científico "El Niño" es generado en el marco del Programa Presupuestal N° 068 "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres".

Producto 1: Estudios para la estimación del riesgo de desastres

Actividad 5: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño

Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169 Mayorazgo, Ate, 15012.

Teléfono: 51-1-3172300

EDITORIAL

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), institución pública adscrita al Ministerio del Ambiente, tiene por finalidad generar, utilizar y transferir conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines. El IGP forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del riesgo de desastres en el Perú, con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico.

El IGP, a través del Programa de Investigación en Variabilidad y Cambio Climático, genera conocimiento científico sobre los componentes del sistema climático (atmósfera, océano, suelo, biósfera y criósfera) y la interacción entre ellos. El Niño - Oscilación del Sur es uno de los principales modos de variabilidad, el cual es objeto de estudio en el programa de investigación, debido a la alta vulnerabilidad del Perú y los impactos negativos asociados.

Desde el 2014, el IGP y otras instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN) participan en el Programa Presupuestal 068: "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres"- PREVAED, contribuyendo con el producto denominado "Estudios para la estimación del riesgo de desastres". El IGP realiza la síntesis y evaluación de los pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos, además de otros estudios que fortalecen en forma continua la capacidad de monitoreo y pronóstico de El Niño en el Perú.

Con el fin de divulgar el conocimiento científico, el Instituto Geofísico del Perú presenta periódicamente sus investigaciones y avances en temas de variabilidad y cambio climático, a través de su Boletín Científico "El Niño", tratando de presentar la información con un lenguaje sencillo y sintetizando los aspectos más relevantes de dichas investigaciones. El objetivo es que las autoridades y técnicos especialistas en la gestión del riesgo de desastres (GRD) pertenecientes a los tres niveles de gobierno, así como el público en general interesado, puedan tener como fuente de conocimiento a los materiales de investigación que el IGP genera.

El presente ejemplar suma dos artículos de investigación. El primero, titulado "Identificación de tipos aerosoles en el Observatorio de Huancayo, Perú usando un fotómetro solar AERONET", presenta los resultados del monitoreo de 2 años en los Andes centrales donde se determinan 6 subtipos de aerosoles, así como el periodo de máximas concentraciones debido a la quema de biomasa en la Amazonía. Es importante resaltar que el fotómetro solar en mención es el único instrumento de este tipo instalado en el país.

El segundo artículo, titulado "Trazando fuentes de humedad a través de señales isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$) en la lluvia de la región central de los Andes", presenta los resultados preliminares del análisis en conjunto de las trayectorias de vientos asociados a los eventos lluviosos y la señal química de la lluvia ($\delta^{18}\text{O}$) durante el periodo 2017 - 2018. El análisis realizado permite comprender la variabilidad de la señal isotópica y sienta las bases para el uso del trazador geoquímico en el estudio del ambiente y el ciclo hidrológico regional.

En este boletín se presenta también, el resumen del informe técnico de El Niño, documento que forma parte de los compromisos asumidos por el IGP en el marco del PPR 068. En esta edición el informe indica que en la actualidad se observan condiciones neutras frente a la costa peruana y, según los pronósticos de los modelos numéricos de las agencias internacionales, estas condiciones se mantendrían hasta julio de 2020, tanto en el Pacífico central como oriental. Cabe recalcar que los pronósticos de los modelos numéricos para otoño en adelante no son muy precisos.

Al final de este boletín también se incluye el resumen del Comunicado Oficial del ENFEN, indicando que se mantiene el sistema de alerta en "No Activo", debido a que se observan, en promedio, condiciones océano - atmosféricas alrededor de lo normal frente a la costa peruana y se espera que estas se mantengan al menos hasta mediados de otoño. Es importante advertir que, en caso de existir discrepancias con el informe técnico de El Niño emitido por el IGP, prevalecerá lo establecido en el Comunicado Oficial del ENFEN.

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

IDENTIFICACIÓN DE TIPOS DE AEROSOLES EN EL OBSERVATORIO DE HUANCAYO, PERÚ, USANDO UN FOTÓMETRO SOLAR AERONET

René Estevan Arredondo ¹, Daniel Martínez-Castro ^{1,2}, Luis Suarez-Salas ¹, Aldo Moya Álvarez ¹ y Yamina Silva Vidal ¹

RESUMEN

Los aerosoles en la atmósfera juegan un papel importante en la transferencia de radiación solar, ya que, dependiendo del tipo, pueden reflejar o dispersar dicha radiación. Cabe resaltar también que algunos aerosoles son nocivos para la salud humana. En el Observatorio de Huancayo se vienen realizando mediciones de aerosoles con un fotómetro solar perteneciente a la red AERONET (AErosol RObotic NETwork) de la NASA. En este estudio se analizaron los datos desde marzo de 2015 hasta agosto de 2017, con el objetivo de evaluar los tipos de aerosoles y las regiones fuentes de los mismos. Se determinó la prevalencia de condiciones de fondo durante el período analizado. Estas condiciones, que constituyen más del 80 % de los casos, se alteran ocasionalmente debido a altas concentraciones de aerosoles generadas por la quema de biomasa que tienen lugar, no sólo en el Perú, sino también, en países vecinos. Se clasificaron los aerosoles en 6 subtipos permitiendo identificar los periodos de quema de biomasa desde mediados de julio a mediados de octubre, siendo el mes de setiembre donde se registran los máximos valores, tanto en media mensual como en máximo absoluto. Durante el año 2016 se registró el máximo absoluto de toda la serie temporal analizada.

El artículo científico original se encuentra en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590162119300395>

Palabras clave: AOD, quema de biomasa, AERONET, Huancayo.

AFILIACIÓN:

1- Instituto Geofísico del Perú (IGP);

2- Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET).

Citar como: Estevan, R., Martínez-Castro, D., Suarez-Salas, L., Moya, A., Silva Vidal, Y. (2020). Mediciones de aerosoles con un fotómetro solar AERONET en el Observatorio de Huancayo, Perú. *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú*, Vol. 7 N° 03. pág. 4-11.

INTRODUCCIÓN

Los aerosoles son partículas sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera que juegan un importante papel en las condiciones del tiempo y el clima. El conocimiento sobre las características y propiedades de los aerosoles ha mejorado sustancialmente y las incertidumbres sobre sus efectos se han reducido (IPCC, 2013). Esto se debe en gran medida al aumento de mediciones, tanto desde plataformas satelitales y aéreas como desde superficie. Las mediciones radiométricas terrestres ofrecen información clave que complementa la proporcionada por los satélites. Un ejemplo exitoso de mediciones de aerosoles en superficie es la red global de fotómetros solares denominada AERONET (AErosol RObotic NETwork), coordinada por la NASA (Holben, et al., 1998).

La quema de biomasa es una de las fuentes más importantes de aerosoles de carbono negro y, en América del Sur, la cuenca del Amazonas es la principal región generadora de este tipo de aerosoles. Los estudios sobre aerosoles atmosféricos en el valle del Mantaro son escasos y se basan fundamentalmente en información satelital. En este sentido, la falta de estudios sobre aerosoles atmosféricos medidos en superficie para el Perú, y particularmente en el valle del Mantaro, fue la motivación principal para el desarrollo de esta investigación.

Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR) ubicado en 12.04 °S y 75.32 °W a una altitud de 3314 m s.n.m. El laboratorio es parte del Observatorio de Huancayo (HYO) del Instituto Geofísico del Perú (IGP), ubicado en el valle del Mantaro (Figura 1).

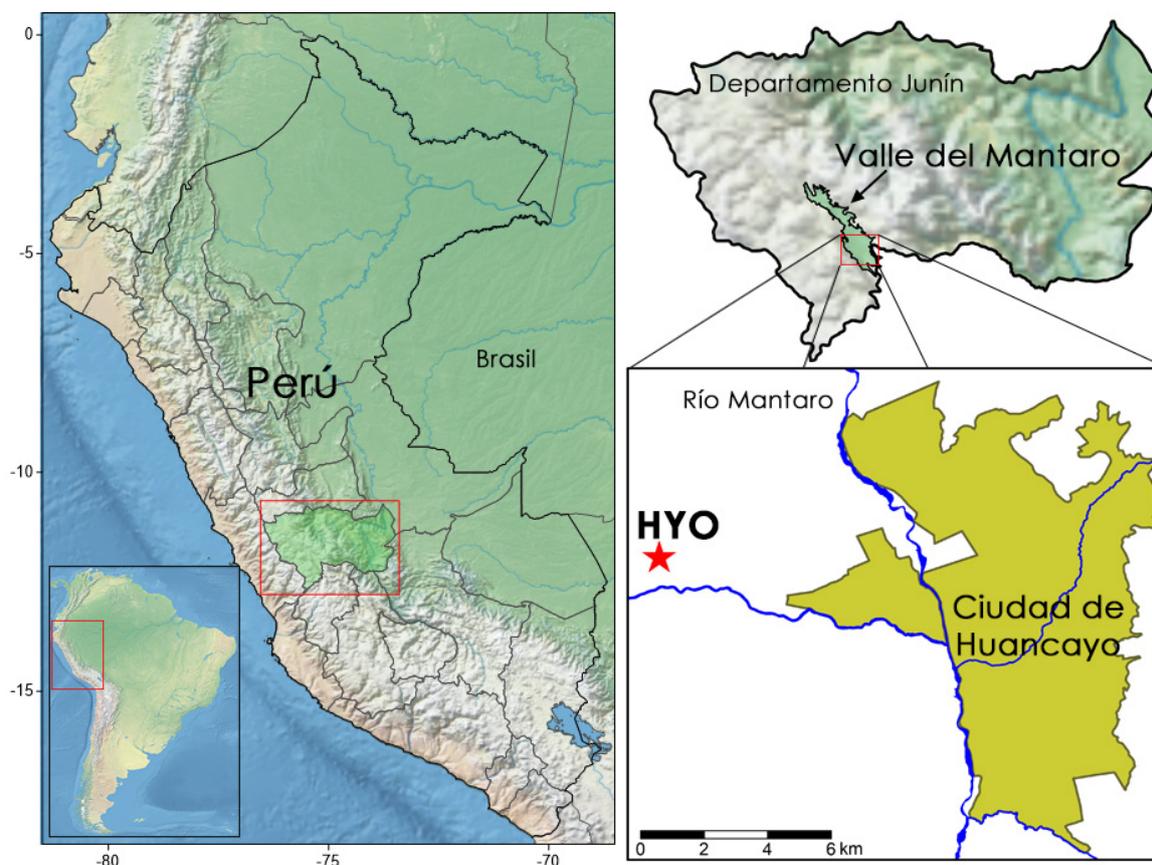


Figura 1. Ubicación del Observatorio de Huancayo (HYO) en el valle del Mantaro, departamento Junín, Perú.

INSTRUMENTOS Y DATOS

El instrumento utilizado es el fotómetro solar CIMEL CE-318T, instalado el 19 de marzo de 2015 como parte de la red AERONET. Hasta el momento, es el único instrumento de este tipo instalado en el Perú y emplea ocho bandas espectrales en el dominio del espacio para las mediciones de irradiancia solar y del cielo (340, 380, 440, 500, 675, 870, 1020 y 1640 nm). La medición de irradiancia solar directa es el procedimiento común del fotómetro solar para medir aerosoles. Con una frecuencia de 15 minutos, esta medición es la que se utiliza para determinar el Espesor Óptico por Aerosoles (AOD, por sus siglas en inglés) y el Exponente de Angström (EA, por sus siglas en inglés).

El AOD a 440 nm y el EA en el rango 440-870 nm, correspondiente a la versión 2 de AERONET, fueron las variables empleadas. El EA es empleado como indicador del tamaño de los aerosoles. Los valores de EA < 0.5, conocidos como modo grueso, implican el predominio de partículas grandes; mientras que valores de EA > 1.5 se relacionan con partículas muy pequeñas, denominadas como modo fino.

MASAS DE AIRE Y CONDICIONES SINÓPTICAS

La principal característica sinóptica en América del Sur corresponde a una circulación anticiclónica bien marcada en niveles altos de la tropósfera, conocida como "Alta de Bolivia", con la que están relacionadas las precipitaciones de verano en los Andes (Garreaud, 2009). Esta circulación anticiclónica garantiza una fuerte divergencia del aire en niveles altos en gran parte del Perú, la cual se debilita durante el invierno. Según Silva et al. (2008) existen, en el valle del Mantaro, dos estaciones bien definidas: la lluviosa, entre septiembre y abril, y la seca, entre mayo y agosto.

Para investigar las posibles regiones fuente de las masas de aire, que contribuyen a la presencia de aerosoles sobre HY0, se realizó un análisis mensual de retrotrayectorias a nivel de superficie. Para ello, se empleó el modelo HYSPLIT con datos de entrada del NCEP/NCAR *reanalysis 1* (Kalnay et al., 1996). Las trayectorias se calcularon empleando un intervalo de 6 horas y una duración de 120 horas hacia atrás. El punto de origen se ubicó en la superficie y en HY0. Las trayectorias se dividieron en ocho rumbos y se agruparon por meses (Figura 2). La prevalencia de la dirección norte (N) es evidente con un 51.6 %, seguida de la dirección noreste (NE) con 19.5 %, ambas constituyen el 71.1 % de todas las trayectorias. Entre abril y septiembre, este porcentaje siempre superó el 80 %, con la frecuencia máxima en julio y agosto con 94.9 % y 94.7 %, respectivamente.



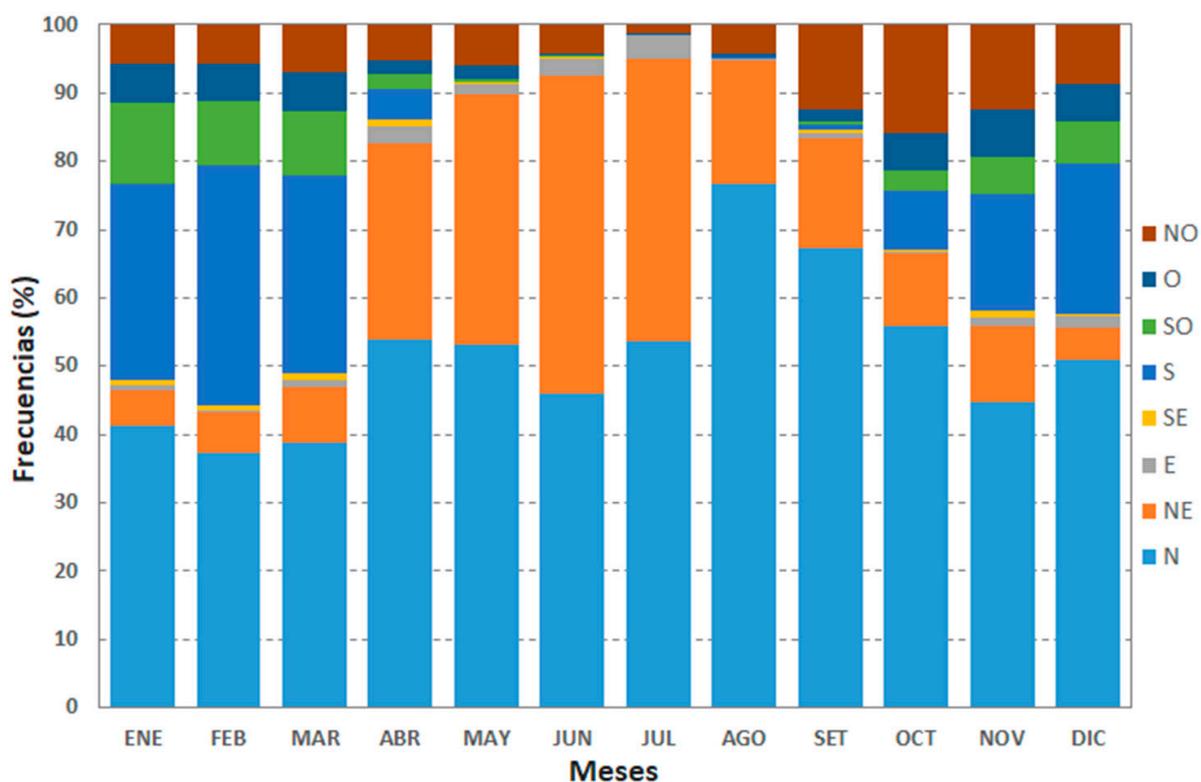


Figura 2. Frecuencia mensual de las direcciones del viento, derivadas del análisis de retrotrayectorias. Se consideraron ocho rumbos.

A partir del análisis de la Figura 2, se consideraron dos patrones principales con dos meses de transición (abril y septiembre). En la Figura 3 se representan los meses más significativos de ambos patrones: febrero (a) y julio (c); así como, de los meses de transición: abril (b) y septiembre (d). En el primer patrón, que incluye el primer y último trimestre del año, las trayectorias muestran características similares con predominio de los rumbos N y NE, pero también con aportes importantes desde el sur (S) y suroeste (SO). Sin embargo, en el último trimestre las frecuencias del S y SO son menores que en el primer trimestre y la influencia del NO es mayor. Durante abril (Figura 3b), el primero de los dos meses de transición, la frecuencia de trayectorias que fluyen sobre el océano, de dirección S y SW, son considerablemente menores que las observadas en el primer patrón.

El segundo patrón incluye los meses de mayo a agosto, donde el dominio de los rumbos N y NE en superficie es casi absoluto. Es significativa la ausencia de trayectorias sobre el océano durante estos meses, por lo que los aerosoles se mueven todo el tiempo sobre el continente (Figura 3c). Julio es el mes más representativo de este segundo patrón con trayectorias muy concentradas en los sectores N y NE, además de algunas trayectorias que se originan en el E. Las trayectorias que componen este patrón fluyen a través de gran parte de la Amazonía central peruana, y en algunos casos desde Brasil, durante un período en el que ocurre una gran cantidad de incendios forestales y quema de biomasa.

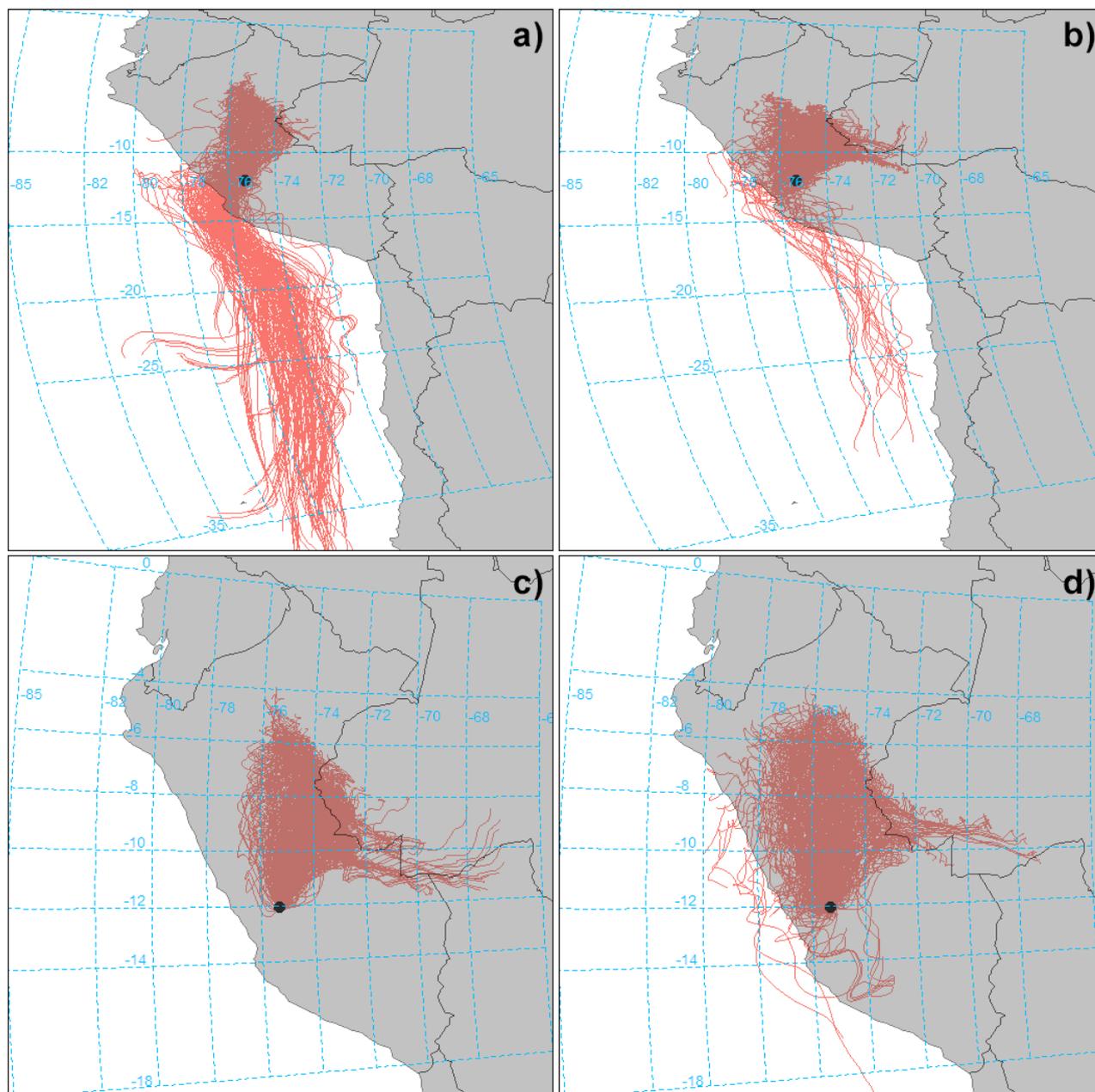


Figura 3. Trayectorias calculadas para febrero (a) y julio (c), los meses más representativos de los dos patrones. Abril (b) y setiembre (d) representan los meses de transición. El punto negro representa el HYC.

Septiembre, el segundo mes de transición, muestra un predominio de trayectorias desde el N y, por tanto, características de masas de aire continentales. En este mes comienzan a aparecer trayectorias originadas en el océano Pacífico. Se puede notar también la presencia de trayectorias con origen en Brasil, las cuales son portadoras de aerosoles generados por la quema de biomasa en la Amazonía brasileña (Figura 3d).

RESULTADOS

La climatología mensual del AOD y el EA, así como algunos descriptores estadísticos relacionados se muestran en la Figura 4. Los valores medios mensuales de AOD son inferiores a 0.1, excepto para el período entre julio y octubre. A partir de junio, con el inicio del invierno y, por tanto, el período más seco del año, se aprecia un incremento de las medias del AOD alcanzando el máximo de 0.164 ± 0.093 en septiembre. Este es también el mes con el EA más alto (Figura 4b), con una magnitud de 1.75 ± 0.21 .

La gran cantidad de valores atípicos en el AOD es notable, especialmente para julio y septiembre, lo cual, es indicativo de la diversidad y alto número de eventos de aerosoles que están vinculados a la quema de biomasa. Los promedios más altos del EA se producen entre agosto y octubre, además de diciembre.

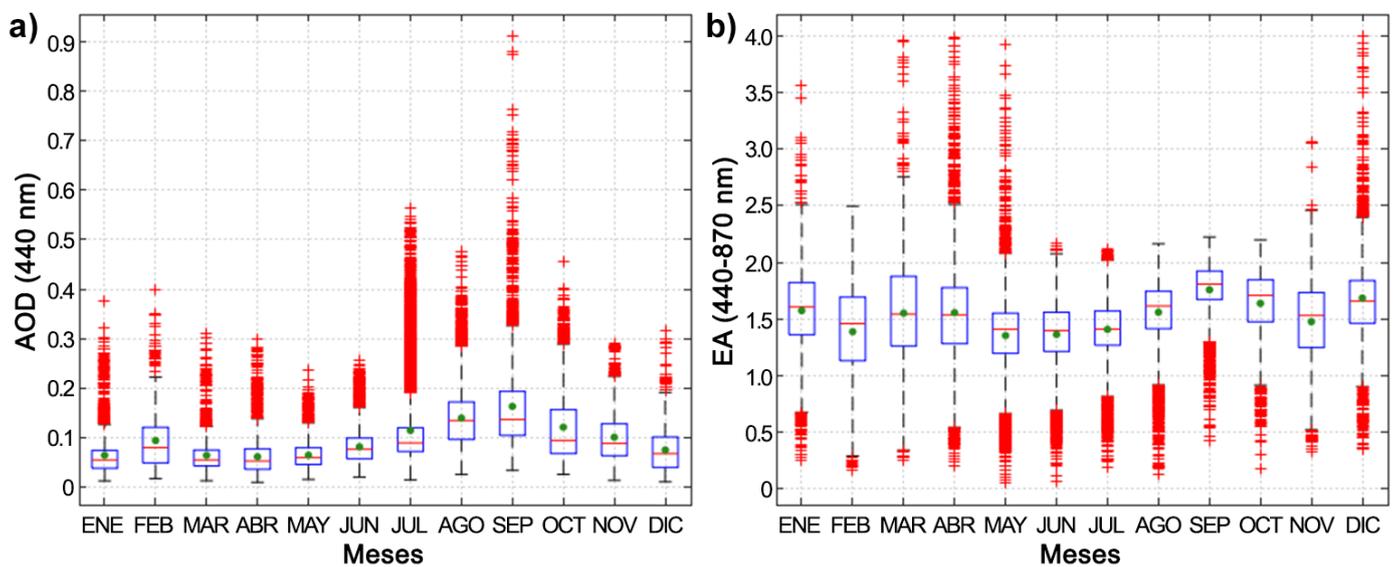


Figura 4. Medias mensuales del AOD (a) y EA (b) para el período de estudio, representadas por el punto verde dentro del rectángulo. La línea roja horizontal representa la mediana. Los límites superior e inferior del rectángulo constituyen los percentiles 25 y 75, respectivamente, y los valores atípicos se representan con el signo + en rojo.

Los valores medios mensuales más bajos de AOD (< 0.07) ocurren entre enero y mayo. Enero, febrero y marzo son los meses con máxima precipitación en HYO. En febrero, ya finalizando el verano en el hemisferio sur, se registraron valores de AOD relativamente altos (0.096), respecto a los otros meses de la estación húmeda. Este comportamiento puede estar asociado a eventos locales de quema de biomasa y a aerosoles de polvo (Platero et al., 2018).

Para la clasificación de los aerosoles se empleó un diagrama de dispersión de AOD vs EA para el cual se establecieron rangos que definen los tipos de aerosoles. Los umbrales iniciales entre tipos se establecieron a partir de la bibliografía existente, pero fueron ajustados de acuerdo a las condiciones específicas del sitio de medición y su entorno. Se realizaron diagramas de dispersión mensuales y se analizaron días individuales para ajustar estos umbrales, teniendo siempre en cuenta el vínculo con las regiones fuentes. El análisis realizado para la clasificación de aerosoles tuvo en cuenta el comportamiento mensual, estacional y anual de los aerosoles en el HYO y como resultado se definieron seis tipos de aerosoles: Continental (CNT), Urbano (URB), Mezcla (MEZ), Polvo (PVO), Marítimo (MAR) y Biomasa (BIO).

La clasificación de los aerosoles registrados en el HYO ha permitido establecer que durante los meses de julio a octubre se registran valores significativos de AOD relacionados con aerosoles del tipo BIO. El comportamiento del tipo BIO describe las mismas características mensuales que los valores medios mensuales de AOD (Figura 4), por lo que puede afirmarse que este tipo de aerosoles modula el comportamiento mensual de AOD en HYO, como se puede apreciar en la Figura 5.

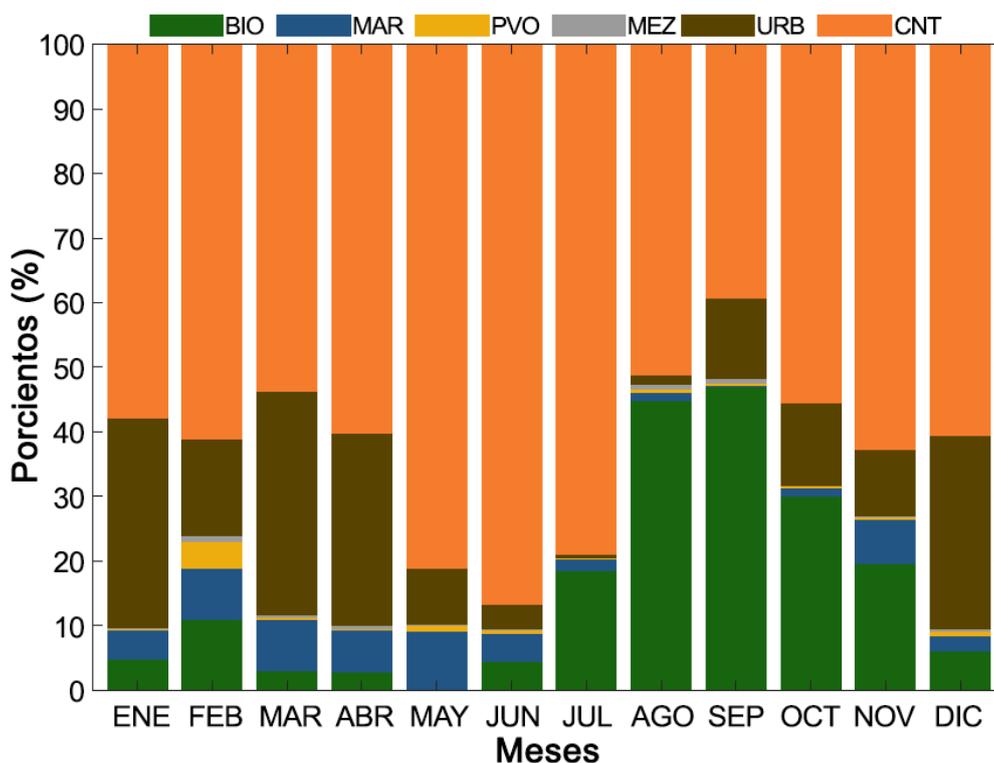


Figura 5. Porcentajes mensuales por tipos de aerosoles en el HYO para el período analizado.

Los aerosoles de tipo BIO son consecuencia de la quema de biomasa de incendios forestales generados principalmente en Perú, pero también de incendios forestales que tienen lugar en países vecinos como Brasil y Bolivia, aunque en menor medida (Moya, et al., 2017). Este transporte transfronterizo es evidente en los análisis de retro trayectorias que fueron realizados.

CONCLUSIONES

En el valle del Mantaro prevalecen condiciones de carga de aerosoles conocidas como fondo, relacionados fundamentalmente con aerosoles del tipo continental. Un resultado importante obtenido a partir de la clasificación de los aerosoles es la concordancia de los períodos de quema de biomasa con el incremento del AOD registrado. Estos períodos abarcan desde julio a octubre de cada año, siendo setiembre el mes donde se registran los máximos valores de AOD. Se ha evidenciado la llegada de aerosoles generados por la quema de biomasa de incendios forestales que tienen lugar fundamentalmente en Perú, pero con contribuciones desde Brasil y Bolivia. Los aerosoles producidos por la quema de biomasa son los principales responsables del incremento de AOD en el valle del Mantaro, ocupan el segundo lugar de todos los tipos registrados y modulan, en general, el comportamiento de los promedios mensuales.

REFERENCIAS

Garreaud, R. (2009). The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences* 22: 3-11.

Holben, B.N., Eck, T.F., Slutsker, I., Tanre, D., Buis, J. P., Setzer, A., Vermote, E. F., Reagan, J. A., Kaufman, Y. J., Nakajima, T., Lavenu, F., Jankowiak, I., Smirnov, A. (1998). AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sensing of Environment*, 66, 1–16.

IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., & Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437–471. doi:10.1175/1520-0477(1996)077<0437:tnyrp>2.0.co;2.

Moya, A. S., Estevan, R., & Yuli, R. A. (2017). Determinación de la presencia de partículas PM10 en Perú, producidas por quema de biomasa con ayuda de modelos numéricos. *Revista internacional de Contaminación Ambiental*, 33(1). 99-108, doi: 10.20937/RICA.2017.33.01.09.

Platero, I. Y., Estevan, R., Moya, A. S., & Yuli, R. A. (2018). Determining the desert dust aerosol presence in the Mantaro Valley, Peru (In Spanish). *Óptica Pura y Aplicada*, 51(3), 50023:1-14. doi:10.7149/OPA.51.3.50023

Silva Y., Takahashi, K., Chávez, R. (2008). Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes). *Advances in Geosciences* 14: 261–264.

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

TRAZANDO FUENTES DE HUMEDAD A TRAVÉS DE SEÑALES ISOTÓPICAS ($\delta^{18}\text{O}$) EN LA LLUVIA DE LA REGIÓN CENTRAL DE LOS ANDES

Carol Romero ¹ y James Apaéstegui ¹

RESUMEN

Las variaciones espaciales y temporales de las precipitaciones en la región central de los Andes peruanos condicionan el desarrollo de diversas actividades económicas, tales como la agricultura, ganadería, entre otras, así como la producción energética. Comprender las condiciones climáticas en la cuenca del río Mantaro es relevante para el país, considerando los servicios ecosistémicos que brinda este territorio. En ese sentido, el presente trabajo aborda la caracterización de las masas de humedad asociadas a las lluvias en la cuenca del río Mantaro desde sus respectivas señales isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$). Se analizaron las señales isotópicas en las precipitaciones durante el periodo 2017 – 2018 (verano austral), y se calcularon retrotrayectorias de vientos a 500 hPa a través del modelo HYSPLIT a fin de comprender las posibles fuentes de humedad. Se observó que las mayores frecuencias de trayectorias registradas provienen del noreste y este de la región (cuenca amazónica). Asimismo, para el verano 2017 se observó mayor fraccionamiento de la señal isotópica en comparación a las condiciones observadas en el año 2018, esto podría deberse a procesos de reciclaje de humedad en las trayectorias previas a la zona de estudio.

Palabras clave: HYSPLIT, isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$), cuenca del río Mantaro, fuentes de humedad.

AFILIACIÓN:

1- Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Citar como: Romero, C., K., Apaéstegui, J. (2020). Trazando fuentes de humedad a través de señales isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$) en la región central de los Andes. *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú*, Vol. 7 N° 03. pág. 12-17.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas en la cuenca del río Mantaro cumplen un rol importante en el desarrollo de actividades socio-económicas, tales como la agricultura y la generación energética (hidroeléctrica), tanto para la región de Junín como para la capital de Perú, Lima. La agricultura existente en la cuenca es predominantemente de secano (aproximadamente 339 065 hectáreas), por lo que son especialmente susceptibles a los eventos de sequías, los cuales representan un peligro latente para esta zona (Martínez et al., 2006).

En atención a dicha premisa existen investigaciones orientadas en comprender los mecanismos físicos asociados a las condiciones climáticas sobre la cuenca del río Mantaro. Estos estudios se basan en mediciones de variables meteorológicas, así como resultados de modelos numéricos de la atmósfera. Sin embargo, es posible generar nuevas evidencias a través del estudio de las señales de isótopos estables, como el oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$), en las aguas meteóricas. Este trazador geoquímico ha sido validado en diferentes investigaciones como un instrumento útil para trazar fuentes de humedad (Ampuero et al., 2020; Apaéstegui et al., 2018; Vuille, 2003) y es en este sentido que podría aportar nuevas evidencias para los estudios hidroclimáticos.

Es importante resaltar que el estudio de las señales isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$) en las aguas meteóricas no solo permitirá el estudio de la dinámica atmosférica actual, sino, también, será la base para calibrar las señales geoquímicas en registros geológicos y biológicos (p. ej., anillos de árboles) o geológicos (p. ej., espeleotemas) para las reconstrucciones paleoambientales. Dicha información es de suma relevancia para mejorar la comprensión en relación a la magnitud y recurrencia de los eventos extremos pasados en la región central de los Andes en el contexto del cambio climático.

DATOS Y MÉTODOS

El agua de lluvia para el análisis isotópico se obtuvo usando un colector con las especificaciones técnicas de la Agencia Nacional de Energía Atómica (IAEA, 1992), dicho colector se ubicó en el Observatorio de Huancayo, donde opera el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR) del IGP, a una altura de 3314 m s.n.m. (Figura 1). El monitoreo se inició a finales del año 2016, siguiendo una frecuencia de muestreo cada 15 días. El análisis isotópico ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) se realizó en el Laboratorio de Isótopos Estables del Instituto de Geociencias de la Universidad de Sao Paulo. Hasta el momento se cuenta con casi dos años de muestras analizadas (diciembre 2016 a junio 2018). La señal isotópica obtenida se contrastó con los parámetros ambientales locales medidos en la estación meteorológica automática pertenecientes al observatorio. Para esto, se realizaron correlaciones lineales de Pearson y un modelo de regresión lineal.

Los análisis de probables fuentes de humedad para la región central de los Andes se realizó con el modelo HYSPLIT (de sus siglas en inglés *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model*) (Draxler & Hess, 1998; Stein et al., 2015). El modelo otorga retrotrayectorias con datos de vientos de cada 6 horas simuladas con el modelo WRF (*Weather Research and Forecasting*), a un nivel de presión de 500 hPa, acumulando las retrotrayectorias para periodos coincidentes con el monitoreo isotópico sobre los dominios D01 (27 km), D02 (9 km), D03 (3 km), los que se muestran en la Figura 1A. Las trayectorias fueron agrupadas en clusters y etiquetadas con un número de grupo que permite calcular la cantidad de lluvia y la frecuencia de ocurrencia asociada a cada trayectoria y grupo.

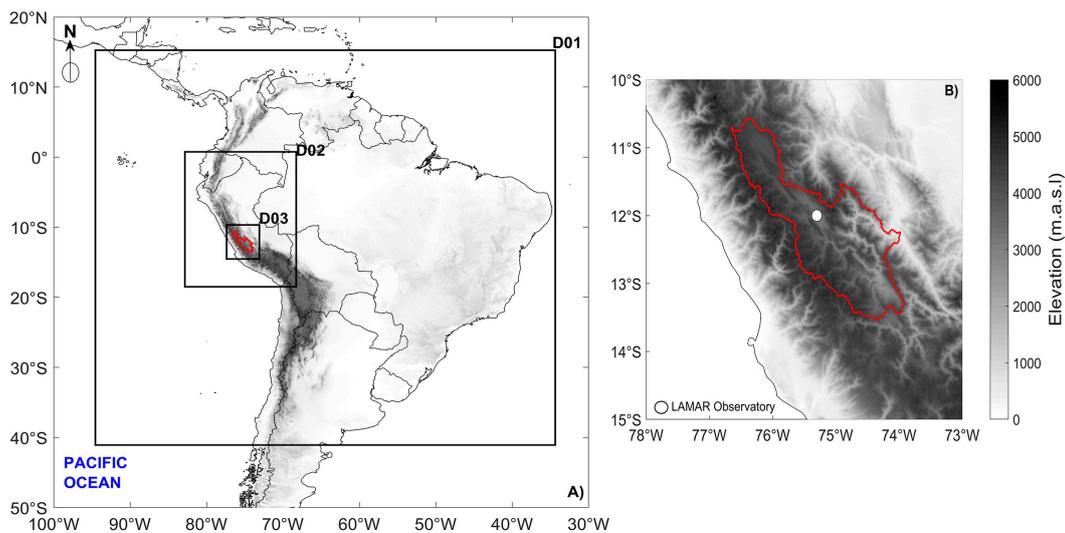


Figura 1. A) Ubicación de la cuenca del río Mantaro a nivel de Sudamérica. Los cuadrados identificados con D01, D02 y D03 indican los dominios usados. D01, D02 y D03 tienen resoluciones de 27 km, 9 km y 3 km, respectivamente. La topografía pertenece a SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con resolución de 90 metros. B) Delimitación de la cuenca del río Mantaro (línea roja), la ubicación de LAMAR está indicada con un círculo blanco.

RESULTADOS PRELIMINARES

El análisis de los isótopos estables medidos en las lluvias colectadas ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) nos permiten construir la línea meteórica local (LML) para la región central de los Andes ($\delta^2\text{H} = 7.19 \cdot \delta^{18}\text{O} + 0.71$, Figura 2A). La semejanza de esta línea meteorológica local con el estándar global (GMWL, por sus siglas en inglés; Figura 2A), nos indica que no existen dispersiones abruptas en el grupo de datos que indiquen procesos de alteración en las muestras. Esta característica valida el uso de la información como trazador de procesos en el ciclo hidrológico.

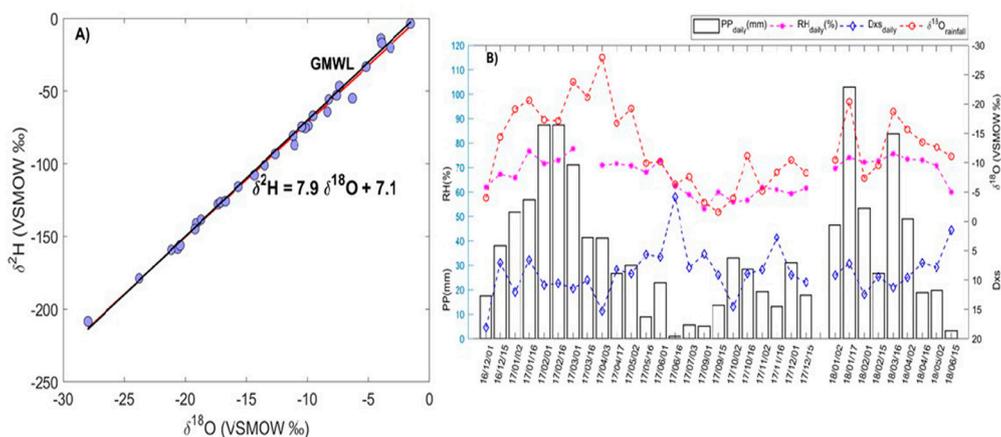


Figura 2. (A) Comparación entre la Línea Meteórica Global (GMWL) y la Línea Meteórica Local (LML). (B) Variaciones isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$) con los parámetros ambientales locales (precipitación y humedad relativa) para el periodo de muestreo Dic. 2016 – Jun. 2018.

Debido a que el 80 % de las precipitaciones anuales se dan en los meses de verano (Sulca et al., 2015) se evaluó para dichos meses las correlaciones lineales de Pearson. Se obtuvo que la señal isotópica ($\delta^{18}\text{O}$) presenta correlaciones negativas significativas al 95 % con la precipitación, humedad relativa y las variaciones de las temperaturas superficiales del mar en el Pacífico ecuatorial oriental (región Niño 1 + 2) y central (región Niño 3.4).

A fin de evaluar la sensibilidad del parámetro dependiente ($\delta^{18}\text{O}$) con los parámetros ambientales locales (parámetros independientes), se realizó un modelo de regresión lineal múltiple, donde se pudo evaluar las contribuciones parciales de las variables en reproducir el parámetro dependiente. Finalmente, se obtuvo que la señal isotópica tiene mayor relación con la variable de precipitación y temperatura de la superficie del mar en la región Niño 3.4 con un valor de R^2 ajustado de 0.7 y $p\text{-value} < 0.001$.

Del análisis anterior, observamos que el fraccionamiento isotópico en las aguas de lluvia no dependen significativamente de los efectos producidos por los parámetros ambientales locales, por lo cual se infiere la influencia de fuentes de humedad remota. Para evaluar dicha premisa, se realizó el cálculo de retro trayectorias de vientos, considerando días con lluvias (días cuando la precipitación es mayor a 0.05 mm) para los 3 dominios que se muestran en la Figura 3, los cuales fueron utilizados en las simulaciones del modelo WRF.

Para los 3 dominios analizados, la mayor contribución de humedad (74 %, 83 % y 88 %), en términos de trayectorias, proviene de las regiones localizadas al noreste y este de la cuenca del Mantaro, tal como se aprecia en la Figura 3A (Clúster 1 para D01 [C1-1]), Figura 3B (Clúster 1 y 2 para D02 [C2-1 y C2-2]) y Figura 3C (Clúster 1 y 4 para D03 [C3-1 y C3-4]). Las contribuciones de los vientos provenientes del sureste de la cuenca se observan en los dominios D01 y D02, otorgando entre el 17 % y 4 % de las trayectorias de humedad hacia la estación de análisis.

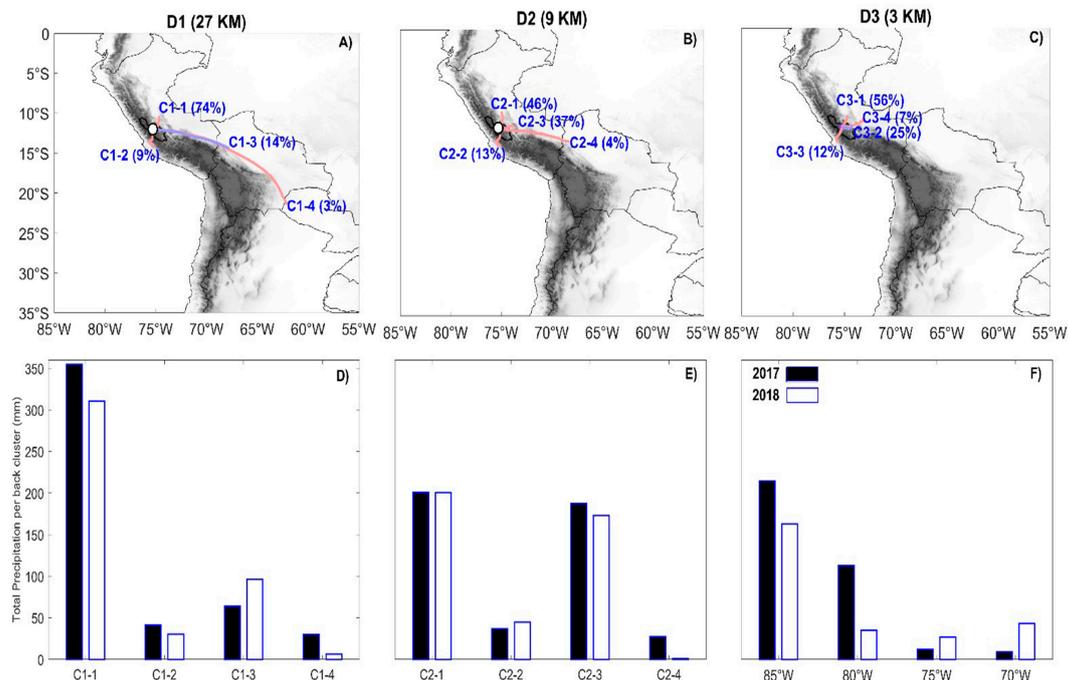


Figura 3. Frecuencias totales de los clústeres de retro trayectorias de vientos para A) D01 (27 km), B) D02 (9 km) y C) D03 (3km), respectivamente para el periodo de estudio (2017 - 2018) calculados por el modelo HYSPLIT. (D, E y F) Precipitaciones acumuladas por cada clúster calculado. Barra azul, precipitaciones acumuladas para el año 2017. Barra blanca, cantidad de lluvias para el año 2018. Observatorio de Lamar (marcador blanco).

Por otro lado, en todos los dominios se observan trayectorias de vientos que provienen del suroeste de la cuenca del Mantaro, con frecuencias que representan entre el 9 y 13 %, del total de las trayectorias. El aporte de esta fuente de humedad contribuye en el rango del 7 % al 9 % de las precipitaciones del periodo de estudio (Figuras 3 D, E, F).

La contribución en términos de la cantidad de lluvia observada para los flujos del este y noreste, asociados a los 3 dominios, se encuentran en el rango de 71 % (D01), 87 % (D02) y 94 % (D03), y los flujos del sureste aportan con 21 % (D01), 3 % (D02) de las precipitaciones en el área de estudio.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

- Los resultados obtenidos muestran que las señales isotópicas en las aguas de lluvia ($\delta^{18}\text{O}$) durante el periodo de estudio (dic 2016 - jun 2018) guardan relación con las fuentes remotas de humedad. Los parámetros ambientales locales son insuficientes para explicar las variaciones de las señales isotópicas observadas en el periodo de análisis.
- En ese sentido, el análisis de retrotrayectorias indica que los principales aportes de humedad provienen del noreste y este de la Cuenca del río Mantaro, lo cual explica, en términos de precipitación, el 71 %, 87 % y 94 % de las precipitaciones en los 3 dominios analizados.
- Podemos decir en este sentido, en base a los resultados obtenidos, que durante el periodo de estudio el mayor ingreso de humedad en la cuenca del Mantaro tiene origen en la cuenca Amazónica y una mínima contribución del suroeste (7 a 9 % de las precipitaciones). Por lo que se puede inferir que no existe una contribución relevante de humedad proveniente del Océano Pacífico en las precipitaciones sobre la cuenca del río Mantaro.

REFERENCIAS

Ampuero, A., Stríkis, N. M., Apaéstegui, J., Vuille, M., Novello, V. F., Espinoza, J. C., ... Sifeddine, A. (2020). *The Forest Effects on the Isotopic Composition of Rainfall in the Northwestern Amazon Basin*. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (Vol. 125). <https://doi.org/10.1029/2019JD031445>

Apaéstegui, J., Cruz, F. W., Vuille, M., Fohlmeister, J., Espinoza, J. C., Sifeddine, A., ... Edwards, R. L. (2018). Precipitation changes over the eastern Bolivian Andes inferred from speleothem ($\delta^{18}\text{O}$) records for the last 1400 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 494, 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.04.048>

Draxler, R. R., & Hess, G. D. (1998). An Overview of the HYSPLIT_4 Modelling System for Trajectories, Dispersion, and Deposition. *Australian Meteorological Magazine*, 47(June 1997), 295–308.

IAEA. (1992). Statistical treatment of data on environmental isotopes in precipitation. *Int Atomic Energy Agency Tech Rep Ser*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Statistical+Treatment+of+Data+on+Environmental+Isotopes+in+Precipitation#0>

Martínez, A., Núñez, E., Silva, Y., Takahashi, K., Trasmonte, G., Mosquera, K., & Lagos, P. (2006). Vulnerability and Adaptation To Climate Change in the Peruvian Central Andes. *Assessment*, 297–305. Retrieved from http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/2000_2007/MartinezBogota.pdf

Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J. B., Cohen, M. D., & Ngan, F. (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12), 2059–2077. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>

Vuille, M. (2003). Modeling $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation over the tropical Americas: 1. *Interannual variability and climatic controls*. *Journal of Geophysical Research*, 108(D6), 4174. <https://doi.org/10.1029/2001JD002038>

RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO DE EL NIÑO

PP N°068/EL NIÑO-IGP/2020-02



Foto: Roger Manay

El presente informe es elaborado por el IGP y sirve como insumo para el informe técnico y Comunicado Oficial de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN). Se presentan los principales resultados de los modelos climáticos con el pronóstico de El Niño. En ocasiones puede diferir del comunicado del ENFEN, debido a que el comunicado es un consenso. En caso de discrepancias entre el informe técnico de El Niño emitido por el IGP y el comunicado del ENFEN, prevalecerá el comunicado del ENFEN.

El valor del Índice Costero El Niño (ICEN), basado en los datos de ERSSTv3b (ICENv3), OISSTv2 (ICENOI) y ERSSTv5 (ICENv5), para el mes de enero de 2020, continúan indicando la condición climática neutra frente a la costa peruana con valores de -0.58, 0.10 y -0.16, respectivamente. Los valores temporales del ICEN (ICENtmp), de ERSSTv3, ERSSTv5 y OISSTv2 para los meses de febrero y marzo de 2020, también coinciden en mostrar condiciones neutras. Con respecto al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) muestran condiciones cálidas débiles para el mes de enero (0.53 °C) y, según la información de los valores temporales, se esperarían condiciones neutras para los meses de febrero y marzo.

Con respecto a los datos de altimetría satelital (producto DUACS), la onda Kelvin cálida, continuó impactando la costa peruana. Se sigue observando la presencia de otra onda Kelvin cálida que se habría formado en enero, la cual arribaría a la costa americana a finales de marzo, aunque según la información in situ y remota, esta se estaría debilitando, pero, de igual forma, se espera que pueda impactar la temperatura del mar.

Según el promedio de los resultados de los siete modelos numéricos climáticos de NMME, inicializados con información oceánica y atmosférica del mes de marzo de 2020, se mantendrían las condiciones neutras para el periodo que va de marzo a julio de 2020, tanto para el Pacífico central como oriental. Es importante recordar que, debido a la barrera de predictibilidad, los pronósticos para el otoño en adelante no son muy confiables.

Puede acceder al informe técnico de El Niño 2020-02 en el siguiente link:

<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4775>

RESUMEN DEL COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 04-2020

CALLAO, 13 DE MARZO DE 2020

ESTADO DEL SISTEMA DE ALERTA: **NO ACTIVO**

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de Alerta No Activo, debido a que se observan, en promedio, condiciones océano - atmosféricas alrededor de lo normal frente a la costa peruana y se espera que estas se mantengan al menos hasta mediados de otoño.

En lo que resta del mes de marzo se espera la llegada de una onda Kelvin cálida, que, sumada a la variabilidad atmosférica, podría incrementar la temperatura del mar y del aire en la costa norte del Perú, por lo que no se descarta la ocurrencia de algunos días con lluvias episódicas por encima de su promedio diario, en la zona baja y media de los departamentos de Tumbes y Piura principalmente, pero sin llegar a ser extraordinarias.

Frente a este panorama, se recomienda a las entidades competentes considerar los escenarios de riesgo a corto y mediano plazo para tomar las medidas que correspondan.

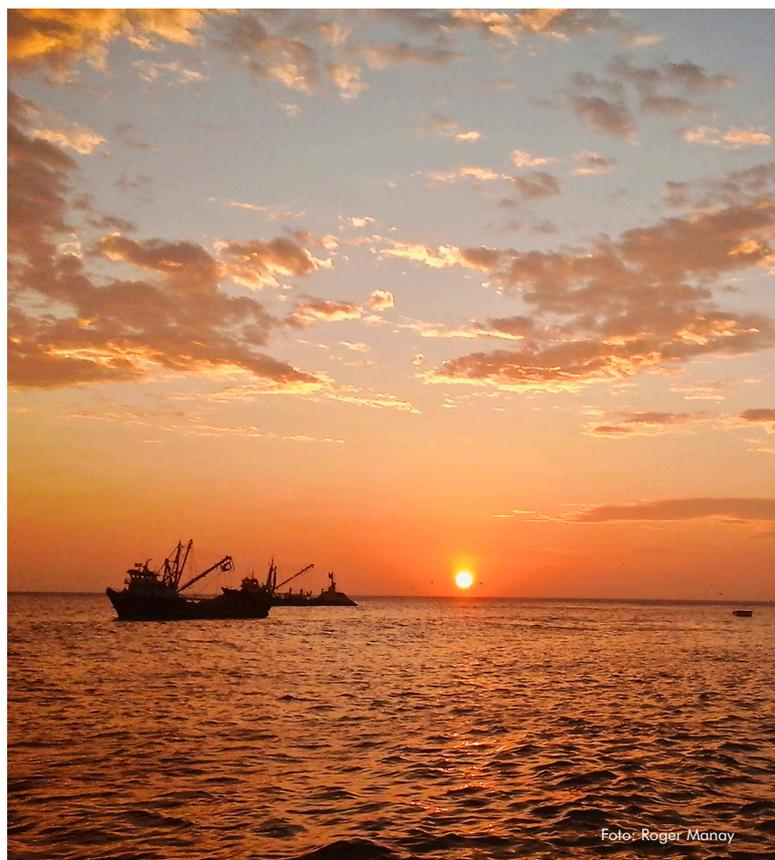


Foto: Roger Manay

COMISIÓN MULTISECTORIAL
ENCARGADA DEL ESTUDIO NACIONAL
DEL FENÓMENO "EL NIÑO" (ENFEN)
DECRETO SUPREMO N° 007-2017-PRODUCE



ESTUDIO NACIONAL DEL
FENÓMENO "EL NIÑO"

¹El Estado del Sistema de Alerta "No Activo" se da en condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costera están próximos a finalizar.

Puede acceder al Comunicado Oficial del ENFEN N° 04-2020 en el:
<http://enfen.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-04-2020/>
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4774>

Redes IGP:

<https://www.gob.pe/igp>

 <https://web.facebook.com/igp.peru>

 https://twitter.com/igp_peru

 https://www.youtube.com/c/IGP_videos